

Блинова М.В., студентка
Балезин М.Е., науч. сотрудник
Соковнин С.Ю., д-р физ.-мат. наук

СПОСОБ АНТИМИКРОБНОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТЕЙ

Очистка жидкостей от микроорганизмов применяется во многих сферах человеческой деятельности. Один из перспективных способов антибактериальной обработки жидкостей основан на использовании высоковольтных импульсов. Рассмотрим коммерчески наиболее эффективные области применений.

Важное значение имеет создание компактных и эффективных систем предварительной очистки воды из природных источников (хотя бы для технических целей) и бытовых стоков (до уровня, позволяющего сбрасывать их в те же водоемы). Эти вопросы актуальны и потенциально имеют достаточно хорошие коммерческие перспективы.

Другое серьезное применение - пастеризация пищевых жидкостей. В настоящее время практически единственным способом снижения микробиологической загрязненности пищевых продуктов является термическая обработка. Однако термическая стерилизация ведет к необратимому изменению свойств сырья, что не всегда допустимо. Применяемые химические способы, например засаливание, засахаривание, приводят к тому же результату. Применение радиационной стерилизации, имеющей высокую эффективность, сдерживается радиофобией населения. Поэтому для увеличения сроков хранения пищевых продуктов широко применяется термическая пастеризация с последующим охлаждением до температур, при которых размножение микроорганизмов затруднено. Однако этот способ требует высоких энергозатрат на охлаждение продуктов и поддержание их в охлажденном состоянии. Кроме того, затрудняется транспортировка и обработка (разделка, продажа) продуктов.

Таким образом, создание безопасных (прежде всего с точки зрения психологии массового потребителя) и эффективных систем антимикробной очистки пищевых жидкостей (молока, соков, пива и т.п.) перед их подачей в автоматы разлива должны иметь хорошие коммерческие перспективы, особенно если будет установлено отсутствие изменения свойств жидкостей в процессе обработки.

Известен способ обработки жидкостей и текучих продуктов, которые служат питательной средой для микроорганизмов (биологических жидкостей), в том числе молока, вин, соков, сточных вод, а также медицинских и косметических препаратов, содержащих микроорганизмы, импульсами электромагнитного поля, длительность каждого из которых менее 10^{-7} с, с амплитудой напряженности электрического поля в жидкости более 10^7 В/м. Возникающее при обработке в жидкости электрическое поле с высокой скоростью нарастания приводит к разрушению (электрическому пробое) жизненно важных частей микроорганизмов (мембран), что приводит к гибели этих микроорганизмов.

Имющиеся способы обработки жидкостей высоковольтными электромагнитными импульсами длительностью более 60 нс требуют достаточно высоких энергозатрат на уровне более 1200 Дж/л, которые уменьшаются с уменьшением длительности импульса (табл. 1).

Предлагаемый способ антимикробной обработки состоит в том, что жидкость в потоке обрабатывается серией коротких высоковольтных импульсов, длительностью менее 20 нс, что позволяет уменьшить амплитуду напряженности электрического поля до $6 \cdot 10^6$ В/м. Переход к коаксиальной геометрии электродов позволяет вынести изолятор из области обработки жидкости, что улучшает условия его работы и уменьшает его контакт с жидкостью. Использование коаксиальных электродов позволяет выполнять изолятор камеры обработки в форме, выгодной с точки зрения получения максимальной электрической прочности.

Таблица 1

Расчетные энергозатраты на снижение концентрации микроорганизмов на порядок

Длительность импульса, нс	21,5	69	300	2000
Напряженность поля exper., кВ/см	36,87	10,65		
Энерговклад exper., Дж/л	30,88	36,6		
Напряженность поля расч., кВ/см	210	143	87,4	46,4
Энерговклад расч., Дж/л	1120	255	2700	5070

Процесс разрушения мембран клеток микроорганизмов происходит на фронте импульса, поэтому уменьшение длительности импульса позволяет уменьшить энергозатраты на процесс обработки и тем самым уменьшить паразитный нагрев жидкости.

Для реализации способа был создан макет, содержащий источник высоковольтных импульсов на основе полупроводникового прерывателя тока и камеру обработки молока (рис.1). Камера представляет из себя коаксиальные электроды 1, 2, выполненные из пищевой нержавеющей стали, разделенные проходным изолятором 3. Внешний электрод 1 является корпусом, на котором имеются патрубки 4 для подвода и отвода обрабатываемой жидкости. На внутренний электрод подается импульс высокого напряжения от источника высоковольтных импульсов (рис.2).

Соотношение диаметров внешнего D_1 и внутреннего D_2 электродов определяет напряженность электрического поля в камере. В экспериментах $D_1=55$ мм, а размер D_2 выбирался из ряда 7, 20, 32 и 40 мм. Верхний предел D_2 выбран исходя из электрической прочности жидкости, остальные диаметры обеспечивают увеличение напряженности электрического поля на внутреннем электроде в 8; 2,7; 1,7; 1,4 раза.

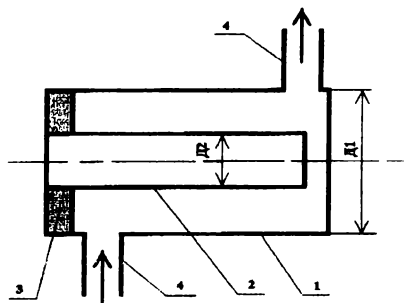


Рис. 1. Камера обработки

Кроме того, соотношение диаметров и длина электродов определяют электрический импеданс камеры, что существенно для сопряжения с импедансом источника высоковольтных импульсов. Длина камеры составляла 220 мм.

Обрабатываемая в камере обработки жидкость может содержать растворенные газы, что приводит к образованию газовых пузырьков как в объеме самой камеры обработки, так и в трубопроводах, по которым обрабатываемая жидкость поступает в камеру обработки. Вероятность образования газовых пузырьков возрастает с увеличением скорости движения по трубопроводам и температуры обрабатываемой жидкости. Поскольку электрическая прочность газа в пузырьках существенно ниже электрической прочности обрабатываемой жидкости, возможно возникновение нежелательных разрядов в пузырьках. Для предотвращения этого жидкость пропускается через камеру обработки под повышенным давлением. Давление находилось в диапазоне 0,2-3 атм. При этом скорость движения обрабатываемой жидкости ограничивается подбором величины повышенного давления, для исключения перехода от ламинарного к турбулентному режиму потока, и может задаваться в диапазоне 3-11 мл/с.

В большинстве экспериментов использовалась модельная жидкость, зараженная микроорганизмом *Eschericia coli* с концентрацией 10^4 1/мл. При обработке модельной жидкости регулировалась частота генератора импульсов в диапазоне 75-200 Гц и скорость потока жидкости в диапазоне 3-10 мл/с.

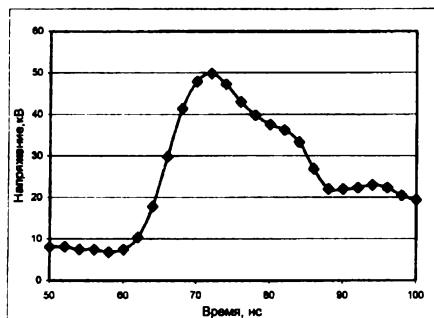


Рис. 2. Зависимость напряжения (кВ) от длительности импульса (нс)

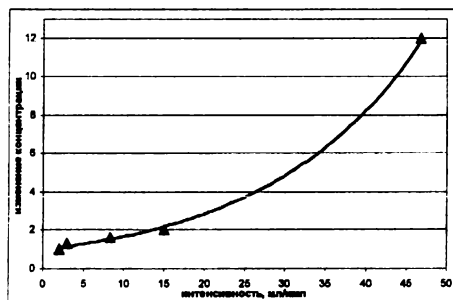


Рис. 3. Изменение концентрации от интенсивности обработки

Таблица 2

Расчет напряженности поля и интенсивности обработки
в зависимости от D_2

Внутренний диаметр электрода, мм	7	20	32	40
Напряженность поля макс, кВ/см	84,6	28	27	21,2
Напряженность поля мин, кВ/см	10,77	10,22*	15,72*	15,42
Интенсивность обработки, мл/имп.	48	-	-	48
Изменение концентрации	11,1	-	-	72,2

*- расчетные значения

Результаты экспериментов показали (табл. 2), что при гибели микроорганизмов значение имеет не максимальное значение напряженности поля (84,6 кВ/см) в зазоре между коаксиальными электродами, которое создается при минимальном диаметре внутреннего электрода ($D_2 = 7$ мм), а наличие высокой средней напряженности поля в зазоре или у поверхности внешнего электрода (15,86 кВ/см), что достигалось при $D_2 = 40$ мм.

Увеличение интенсивности обработки жидкости ведет к уменьшению концентрации микроорганизмов рис.3. Закономерность уменьшения концентрации носит экспоненциальный характер вида:

$N_0/N_1 = 0.98 \cdot \exp(0.05 \cdot I_{\text{имп}})$, где N_0 , N_1 – начальная и конечная концентрации микроорганизмов. При этом для уменьшения концентрации микроорганизмов на порядок требуется 36,6 Дж/л при 69 нс и минимальной напряженности 10,65 кВ/см, что существенно меньше (в 6,9 раз) по энергозатратам по сравнению с расчетными данными для тех же условий. Возможными причинами резкого повышения эффективности обработки могут являться: неравномерное распределение напряженности поля по сечению кюветы при коаксиальной геометрии, активное перемешивание жидкости при ее движении по кювете, высокая частота следования импульсов.

Для изучения практического использования способа были выполнены эксперименты по пастеризации молока. Оно предварительно заражалось наиболее характерными для него микроорганизмами *Escherichia coli* концентрацией 10^4 1/мл. Эксперименты были аналогичны тем, что проводились на модельной жидкости. Выполненные анализы показали, что обработанное молоко соответствует необходимым нормативам (ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко натуральное коровье – сырье. Технические условия» и СанПиН 2.3.2. (078-6)). Установлено, что затраты энергии на пастеризацию молока (снижение концентрации микроорганизмов на 2 порядка) составляют 30,9 Дж/л. Нагрев жидкости при такой обработке происходит менее чем на 10 градусов, что не создает проблемы изменения свойств жидкости.